



暮らしを支える橋を目指して

川島 一彦 研究室～土木工学専攻



川島 一彦 教授

阪神大震災は従来の耐震設計の常識を大きく覆した震災だった。土木の専門家が構造物を設計する際に想定していた地震の規模を大きく上回っていたのである。そして、対策が不十分であった道路や橋などの交通網は崩壊し、一刻を争う避難や救助に深刻な影響を及ぼした。

あの阪神大震災から今年で10年になる。阪神大震災の教訓を踏まえて、現在はさらなる耐震性の向上が構造物に求められている。そのような中で、川島研究室で現在模索されているのは、地震に耐え抜く橋の耐震技術である。



街を支えるインフラストラクチャー

阪神大震災では家屋のみならず、ガス管や道路などの都市生活を支えるインフラストラクチャーも甚大な被害を受けた（写真1）。このため、都市機能が崩壊して震災時の救助や避難は困難を極めたのである。

都市生活者に何気なく利用されているインフラストラクチャーは、日常の快適な生活を根底から支えている。それゆえ、インフラストラクチャーという都市基盤が崩壊すれば、都市生活そのものが成り立たなくなってしまう。先生の研究目的は、地震が発生した際にインフラストラクチャーの崩壊を最小限に抑えて、都市機能を維持することである。川島研究室で行われている主な研究は、インフラストラクチャーの中でも特に橋の耐震技術に関するものである。

先生は東工大に赴任される以前、建設省の土木研究所に勤めていた。そこで当時の先生が携わったことは、道路や橋などの耐震に関する基準（道路橋示方書・同解説）を作る仕事であった。日本で造られている橋のほとんど全てが、この基準に従う。

この基準は実際の施工現場で使われるものであ

り、誤解を生まない表現が求められる。この要求に適い、施工の際に最も扱い易かつ汎用性があるものは、数式による表現である。実際に、構造物がどの程度の地震に耐えられるのかを算出するための式や、構造物の固有周期を算出するための式など、この基準の主要な部分は数式で書かれている。

このような数式を、様々な実験的アプローチを通して得ることが川島先生の研究である。構造物の模型に振動を与えて、その破壊状況を調べる基



写真1 インフラストラクチャーの被害

礎的な実験に始まり、破壊現象を説明できるような構造物のモデル化を考える。最終的にはコンピュータによるシミュレーションを行うことによって、振動を与える実験をしなくても構造物の破壊現象が予測できるようになる。そしてその水準にまで達してはじめて、基準になる数式が得られるのである。

川島先生は現在、世界的にもあまり研究されていない逆L字型橋脚（写真2）に関する研究に特に力を注いでいる。今回紹介するのは、先生の逆L字型橋脚に対する取り組みである。



写真2 逆L字型橋脚



逆L字型橋脚の基準制定に向けて

建物が密集して、空間的な制約の多い都市部を歩いていると、逆L字型橋脚に出くわす。逆L字型という形から、地震に対するこの橋脚の危険性はすぐに推察できる。実際に、過去の実験からも図1のような変形が予想されている。逆L字型という左右非対称な形が生み出す、独特なモーメントが橋脚に損傷を与えるのである。

逆L字型に限らず一般に、橋脚が揺れを受けると橋脚が大きく傾き、不可逆的な変形をすることがある。この変形によって生じた変位を残留変位という（図1）。逆L字型橋脚はこの独特のモーメントのために、残留変位が通常の橋脚よりも大きくなるという特徴を持っている。

川島先生はこの橋脚の危うさに危機感を抱いている。なぜならば、現在の逆L字型橋脚は残留変位を考慮して設計されていないからである。そのように設計された橋脚は阪神大震災クラスの地震には耐えられないと先生は考える。しかしながら逆L字型の橋脚は都市部で既に使われている。そこで川島研究室では、残留変位を考慮した新たな耐震補強技術を基準として提案するために、実験を行った。

この実験では、様々な手法で補強された逆L字型橋脚に阪神大震災程度の振動を与え、橋脚の変位などのデータを集める。次にそのデータを基にして橋桁などを含めた橋全体の動きを解析する。

橋脚の部分は逆L字型という特殊な構造のため、コンピュータ上の計算のみによるシミュレーションが難しい。しかし実際の施工では、橋脚も含めた橋全体のシミュレーションが必要になる。

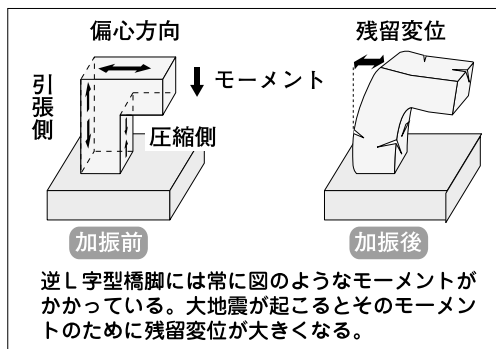


図1 逆L字型橋脚の被害

今回は逆L字型橋脚の耐震補強を実験的に検討するとともに、シミュレーションの前段階となる解析を行った。

実験で用意された橋脚の一つとして、補強効果を比較するための無補強の橋脚がある。この橋脚は当然振動に持ちこたえられないと予想された。

また、一般的な橋脚の補強方法である、鋼板を巻いた橋脚も用意された。しかし逆L字型橋脚に関しては、この補強方法は適していないと考えられた。モーメントの影響を受けるこの橋脚は、圧縮側の鋼板が歪みやすいからである。この状態では鋼板による補強効果を期待できない（図2）。

これらの橋脚に対して、川島研究室で最も期待されている補強方法はPC（プレストレストコンクリート）鋼材（図3）を使う方法である。逆L字型橋脚はモーメントのために図1の左側が引っ張られる。しかし、コンクリートは引っ張りには弱い。そこで、引っ張られる部分を予め圧縮して

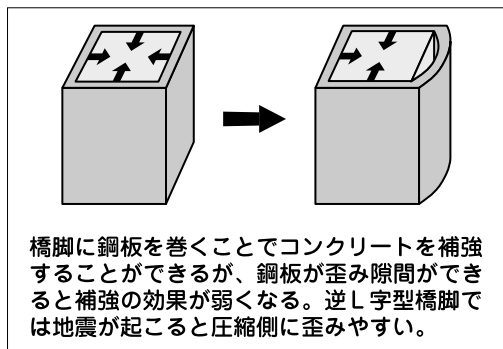


図2 鋼板の補強効果

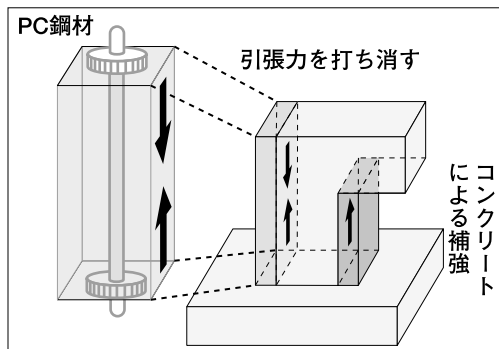


図3 PC工法

おくことで、モーメントの影響を減らす工夫をした。このために使われるのがPC鋼材である。さらに圧縮側に、橋脚の支えとなるコンクリートを加え、橋脚の強度を上げた。

実験結果は予想通りになった。今回の実験では橋脚に振動を二回与える予定だったが、何も補強をしない橋脚は一回目の振動が終わる前に、偏心方向の変位が約160mmにも達した。実験を続けるのが危険な状態となり、実験が途中で打ち切られた(写真3A)。

また鋼板を巻いた橋脚は一回目の振動が終わった段階での変位が90mm程度になり、二回目の振動を与えられる状況ではなかった(写真3B)。

一方で、PC鋼材を使った橋脚では補強効果の違いが顕著に現れた。一回目の振動を与え終わった段階での変位を2mm程度に抑えることができ、二回目の振動を与え終わっても、橋脚にはほとんど変化がなかったのだ(写真3C)。

次にこの実験結果を踏まえて、橋全体についての解析を行う。橋脚以外の部分をいくつかの質点に分割し、そのそれぞれの質点につき、外力である地震や摩擦などを考慮した運動方程式を立てる。そしてこの運動方程式を用いて百分の一秒から一万分の一秒という微小時間ごとに加速度や変位を求める。これと橋脚の実験データをあわせることで橋全体の解析が可能になる。このような研究の積み重ねによって、いずれはコンピュータ上でのシミュレーションも期待できるという。

今回の実験ではPC鋼材を使う方法の有効性が示されたといえる。しかし先生はこれをすぐに基準として実用化するのは難しいとおっしゃっている。基準を敷くには、慎重な判断が求められるからだ。一つの実験結果から基準ができるというものではない。まだ基準への道は遠そうだが、いずれはこのような成果が基準となり、実際の施工に使われることを期待したい。



写真3A 無補強



写真3B 鋼板による補強



写真3C PC鋼材



研究の社会還元

川島先生の研究スタンスと呼べる言葉がある。研究室のホームページにアクセスしてみよう。すると次の言葉が飛び込んでくる。

"We bring technology to protect all mankind."
という言葉だ。

川島研究室では、実験によって得られた結果を全てホームページ上に公開して、その成果を他の研究者と共有できるようにしている。研究者間のアカデミックなレベルでの競争よりも、社会への還元を意識しているのである。

さらに先生は耐震基準（道路橋示方書・同解説）制定の委員を務めるという形で社会還元に関わる。1990年と1996年の2期連続で川島先生は、この分科会長を務めた。ちょうど阪神大震災を挟み、基準が大きな変革を遂げた時期だった。

この間に、基準を改定する中心的な役割を担ったのが川島先生であった。過去の耐震基準が不十分だと感じていた川島先生は、基準の改定を阪神大震災以前の1990年の段階から始めていた。

概して、基準は極端には改定されないことが多い。基準の改定が本当に間違いがないものなのかどうかの判断が難しいのである。構造物は数十年間使われることが前提になっている。仮に制定さ



川島先生から伺ったお話のうち、ここでは紹介できなかったものもありました。例えば「逆L字型橋脚の基準制定に向けて」の章では、圧縮側にコンクリートのみを補強する工法を割愛しました。紙幅の都合で紹介できず、非常に残念です。

れた基準が間違いであっても、その基準によって設計された構造物はすぐには修繕できない。そのため、基準の改定には慎重な判断が求められる。しかし先生は、震災前に基準を改定したことには意義があったと振り返る。

阪神大震災後は、基準の急速な改定を迫られた。基準の改定が震災後に、ゼロから始まっている、相当な混乱を招いたと先生は考える。1990年の段階で基準の改定に動いたことで、その混乱を避けられたというメリットがあった。

* * * * *

今回の取材を通して、川島先生は何度も「社会の役に立ちたい」と語っていた。社会貢献を意識する先生は、今までの構造物の耐震設計が社会の期待に沿うものなのかどうかを案じている。

今の技術力では、どのような地震にも耐え得る設計をすることは難しい。耐震設計にかけられるコストには限度がある。そこで、経済性と耐震性のバランスを考えることが重要になる。

現在、大地震に対しては、人命に関わる崩壊を防ぐことが耐震設計の目安にされている。だが、その一方で社会が期待するものは、地震に対して壊れない構造物ではないかと先生は考えている。

先生が恐れているものは、技術者のした仕事と社会の期待との溝である。そこで、今の耐震設計や専門家のスタンスを社会に伝えていく必要があると考えている。

私たちは専門家のスタンスを知らされてはいない。しかしそれを知ることができれば、技術者が社会に理解されるための一歩を踏み出せるのではないだろうか。研究の社会還元、これこそが川島先生のテーマのように感じられた。

最後になりましたが、非常にお忙しい中で度重なる取材に応じてくださった川島先生や、渡邊助手、実験結果を提供してくださった修士課程の福田さんに、この場を借りてお礼申し上げます。ありがとうございました。（重田 尚孝）